饲粮添加菊糖对肉仔鸡生长性能、排泄物及肠道主要臭气化合物浓度的影响[1]

王 琪 管倩俩 杨桂芹* 刘海英 宁志利 董维国

（沈阳农业大学畜牧兽医学院，沈阳 110866）

摘 要：本试验旨在探讨饲粮添加菊糖对肉仔鸡生长性能、排泄物及肠道主要臭气化合物浓度的影响。选择 300 只 1 日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡，随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。各组分别饲喂在基础饲粮中添加 0（对照组）、0.05%、0.15%、0.25%、0.50%菊糖的试验饲粮。试验期 6 周。结果表明：1）饲粮添加菊糖对肉仔鸡生长性能无显著影响（$P>0.05$）；2）与对照组相比，饲粮添加 0.50%菊糖显著提高了肉仔鸡排泄物中乳酸浓度（$P<0.05$）。排泄物中乳酸浓度显著高于盲肠和直肠食糜（$P<0.05$）。3）与对照组相比，饲粮添加 0.50%菊糖显著降低了肉仔鸡排泄物中吲哚和粪臭素浓度（$P<0.05$）。4）肉仔鸡排泄物吲哚浓度与直肠吲哚和粪臭素浓度、盲肠吲哚浓度呈显著的正相关关系（$P<0.05$）。排泄物的 pH 与盲肠乳酸浓度呈显著的负相关关系（$P<0.05$）。综上所述，在本试验条件下，饲粮中添加菊糖显著降低了肉仔鸡排泄物、盲肠和直肠的吲哚和粪臭素浓度，饲粮菊糖适宜添加水平为 0.50%。

关键词：菊糖；生长性能；排泄物；肠道；臭气化合物；肉仔鸡

中图分类号：S831 文献标识码： 文章编号：

随着畜牧业规模化和集约化程度日益提高，畜禽养殖生产中产生的臭气对环境的污染不断加剧，给动物和人类的生存环境带来极大危害。开展饲料营养调控技术研究，从根源上减少养殖业臭气污染已成为当前营养学、生态学研究的前沿和热点[1-2]，对探索环境友好型畜牧生产方式具有重要科学意义。

菊糖(inulin)，别名菊粉，是由 *D*-果糖分子经 β（1→2）糖苷键连接而成的果聚糖，末端含有 1 个葡萄糖分子，聚合度为 2～60，聚合度较低(2～9)时则称为低聚果糖[3]。由于 β 糖苷键的存在，菊糖不能被单胃动物的胃和小肠消化酶分解，大多直接进入大肠作为微生物发酵的底物，影响菌群的

收稿日期：2016-05-26

基金项目：国家自然科学基金项目(31372328)

作者简介：王 琪(1991—)，女，辽宁鞍山人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 1028688195@qq.com

*通信作者：杨桂芹，教授，硕士生导师，E-mail: guiqiny@126.com

发酵模式，进而影响粪臭素等的产生量[4]。Liu 等[5]研究表明，菊苣根对肉仔鸡具有很好的适口性和潜在的应用价值。饲粮添加 9%[6]和 1.25%的菊糖[7]可显著降低猪结肠粪臭素的浓度和鲜粪的臭味。本课题组前期研究表明，菊糖能够显著降低肉仔鸡直肠和盲肠菌群作用下体外发酵液中吲哚和粪臭素浓度及 *L*-色氨酸（*L*-Trp）的降解率[8]，但其在动物体内是否具有相同的作用效果及适宜添加水平尚不明确，为此进行该项研究，以探索可行的降低肉仔鸡臭气化合物产生量的途径。

1　材料与方法

1.1　试验材料及饲粮

试验用菊糖为上海某公司生产，主要成分为菊糖。纯度＞92%，相对分子质量近似 5 000，白色结晶性粉末，无味。基础饲粮参照 NRC（1994）肉仔鸡饲养标准，结合生产实际，其组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content 1～3 周龄 1 to 3 weeks of age	4～6 周龄 4 to 6 weeks of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	66.00	60.00
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS		5.50
豆粕 Soybean meal	23.00	20.00
膨化大豆粉 Expanded soybean meal	5.00	4.00
国产鱼粉 Domestic fish meal	2.00	
棉籽粕 Cottonseed meal		3.00
石粉 Limestone	1.50	1.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.10	1.50
食盐 NaCl	0.30	0.40
氯化胆碱 Choline chloride	0.10	0.10
豆油 Soybean oil		3.00

预混料 Premix[1)]	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg）	13.50	13.50
粗蛋白质 CP	22.50	20.00
钙 Ca	1.10	1.00
总磷 TP	0.80	0.75
有效磷 AP	0.45	0.35
赖氨酸 Lys	1.10	1.00
蛋氨酸 Met	0.50	0.40
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.90	0.72
色氨酸 Trp	0.22	0.20

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provides the following per kg of diets：VA 10 000 IU，VE 25 mg，VD 4 000 IU，VK 2 mg，VB_1 1.5 mg，VB_2 6 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.02mg，生物素 biotin 0.15 mg，泛酸 pantothenic acid 11 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，烟酰胺 niacinamide 40 mg，Fe 110 mg，Cu 10 mg，Mn 100 mg，Zn 60 mg，I 0.7 mg，Se 0.3 mg。

[2)]营养水平为计算值。Nutrient levels are calculated values.

1.2 试验设计及饲养管理

试验采用单因素完全随机试验设计，选取 300 只 1 日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡，雌雄各占 1/2，随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。各组分别饲喂在基础饲粮中添加 0（对照组）、0.05%、0.15%、0.25%、0.50%菊糖的试验饲粮。饲养试验于 2015 年 11—12 月，在沈阳农业大学科研种鸡场进行。试验鸡采取三层全阶梯笼养，热风炉供暖。人工喂料，乳头饮水器供水，机械清粪。所有鸡只自由采食和饮水，全天 24 h 光照。试验期 6 周，分 1～3 周龄和 4～6 周龄 2 个阶段。按常规方法进行疫苗接种和饲养管理。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 生长性能

以重复为单位测定鸡只初始体重，3、6 周龄空腹体重，1～3 周龄、4～6 周龄采食量，记录死亡淘汰数。统计并计算各组平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）、料重比（F/G）和死亡

率。其中，死亡率以组为单位，记录死亡鸡只数占饲养只数的百分比。

1.3.2 吲哚、粪臭素和有机酸

肉仔鸡饲养至 42 日龄，从 09:00 开始，每人负责 1 组，以重复为单位，笼底铺塑料布，跟踪采集肉仔鸡新鲜排泄物 50 g 左右，一部分立即测定 pH，另一部分装入塑料自封袋密封，放入-20 ℃冰箱保存。此外，每个重复取 1 只鸡（确保每组雌雄各占 1/2）颈静脉放血处死，迅速解剖，分离盲肠和直肠，液氮速冻 20 min 后，保存在-80 ℃条件下备用。

pH：依据 GB/T 9695.5—2008，应用 PHS-3C 型 pH 计（上海）测定，取新鲜排泄物 20 g 放在 50 mL 玻璃烧杯中，插入 pH 计探头，确保 pH 计探头没入排泄物中，静置 5～10 s，待稳定后读数。每测完 1 个样品用蒸馏水冲洗电极 1 次。

吲哚和粪臭素：采用高效液相色谱法。先称取 2 g 肉仔鸡排泄物（或肠道内容物）置于 10 mL 组织研磨器中，加入 4 mL 蒸馏水，匀浆混合 1 min。取该混合液 1 mL，加入 2 mL 色谱级甲醇，漩涡混合，置-20 ℃放置 30 min，以加速微粒物质沉淀。3 000×*g* 离心 10 min，取清液 1 mL 转入 1.5 mL 离心管中，15 000×*g* 再离心 30 min。上清液转至另一离心管中。用 1 mL 一次性注射器吸取最终得到的上清液，经 0.45 μm 滤膜过滤至自动进样小瓶里，待进样分析。使用安捷伦 1100 高效液相色谱仪，配荧光检测器，迪马公司铂金系列 C18 色谱柱（250 mm×4.6 mm, 5 μm），流动相为乙腈:水=60:40，流速 1.0 mL/min，柱温 30 ℃，进样量 20 μL。荧光检测器激发波长 263 nm，发射波长 358 nm。

有机酸：采用高效液相色谱法，测定乙酸、丙酸、丁酸、乳酸的浓度。取肉仔鸡排泄物（或肠道内容物）与水的混合液 1 mL，加 0.2 mL 25%的偏磷酸，4 ℃离心（20 000×*g*）10 min，取上清液置于冰箱中备用。安捷伦 1100 高效液相色谱仪，配光电二极管阵列检测器，迪马公司铂金系列 C18 色谱柱（250 mm×4.6 mm，5 μm），流动相为磷酸缓冲溶液（pH 2.5）:甲醇=95:5，流速 1.0 mL/min，柱温 30 ℃，进样量 10 μL。

1.4 统计分析

以重复为单位进行数据处理和统计，采用 SPSS 17.0 软件包的单因素方差分析(one-way ANOVA)过程进行分析，Duncan 氏法多重比较检验，并利用对比（Contrast）中的线性和二次项进行趋势分析。吲哚、粪臭素和有机酸浓度之间采用双变量相关分析。$P<0.05$ 为差异显著。试验数据用“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 生长性能

由表 2 可知，饲粮添加菊糖对 1～3 周龄、4～6 周龄和 1～6 周龄肉仔鸡 ADFI、ADG 及 F/G 均无显著影响（P>0.05）。但 0.50%菊糖添加组 ADFI 和 F/G 均最低。饲粮菊糖添加水平与肉仔鸡 4～6 周龄和 1～6 周龄 ADFI、1～6 周龄 F/G 线性关系显著（P＜0.05）。

2.2 有机酸和 pH

由表 3 可见，饲粮添加菊糖对肉仔鸡排泄物乙酸、丙酸浓度无显著影响（P>0.05），对排泄物乳酸浓度和 pH 有显著影响（P<0.05）。0.50%菊糖添加组的肉仔鸡排泄物乳酸浓度比对照组高出 31.07%（P<0.05），pH 比 0.05%菊糖添加组低 9.63%（P<0.05）。饲粮菊糖添加水平与肉仔鸡排泄物乳酸浓度、pH 线性关系显著（P<0.05）。

饲粮添加菊糖对肉仔鸡直肠食糜乙酸浓度及盲肠食糜乙酸、乳酸浓度无显著影响（P>0.05），对直肠食糜乳酸浓度影响显著（P<0.05），0.05%、0.15%、0.25%菊糖添加组直肠食糜乳酸浓度显著高于对照组（P<0.05），其中 0.25%菊糖添加组乳酸浓度最高（2.34 mg/g），比对照组高出 614.63%。饲粮菊糖添加水平与直肠乳酸浓度二次曲线关系显著（P<0.05），根据二次回归模型（$Y=-26.46X^2+13.96X+0.317$）估测，当饲粮菊糖添加水平为 0.26%时，肉仔鸡直肠乳酸浓度最高。

表 2　饲粮添加菊糖对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary inulin supplementation on growth performance of broilers

饲粮菊糖添加水平 Dietary inulin supplemental level/%	平均日采食量 ADFI/g			平均日增重 ADG/g			料重比 F/G			死亡率 Mortality/%		
	1～3 周龄 1 to 3 weeks of age	4～6 周龄 4 to 6 weeks of age	1～6 周龄 0 to 6 weeks of age	1～3 周龄 1 to 3 weeks of age	4～6 周龄 4 to 6 weeks of age	1～6 周龄 1 to 6 weeks of age	1～3 周龄 1 to 3 weeks of age	4～6 周龄 4 to 6 weeks of age	1～6 周龄 1 to 6 weeks of age	1～3 周龄 1 to 3 weeks of age	4～6 周龄 4 to 6 weeks of age	1～6 周龄 1 to 6 weeks of age
0（对照 Control）	51.65±3.98	131.80±3.83	91.73±3.35	35.03±11.46	72.22±2.90	53.64±1.62	1.47±0.11	1.83±0.06	1.71±0.06	0	0	0
0.05	51.40±1.69	136.45±4.66	93.93±2.82	35.68±5.53	71.82±4.76	53.76±2.41	1.44±0.03	1.91±0.13	1.75±0.08	0	1.67	1.67
0.15	48.60±3.50	127.30±14.90	87.94±8.89	33.00±2.81	68.40±9.30	50.70±5.86	1.47±0.04	1.87±0.05	1.74±0.04	0	1.67	1.67
0.25	49.43±2.69	129.08±4.00	89.27±3.18	33.62±1.42	71.98±2.04	52.79±1.29	1.47±0.08	1.79±0.06	1.69±0.06	6.67	0	6.67
0.50	48.47±3.67	123.95±10.65	86.21±5.11	33.92±1.67	70.05±4.81	51.99±1.92	1.43±0.08	1.77±0.15	1.66±0.10	1.67	1.67	3.33
差异性 *P* 值 Difference *P*-value	0.280	0.176	0.112	0.069	0.697	0.426	0.709	0.173	0.212			
线性 *P* 值 Linear *P*-value	0.076	0.041	0.024	0.120	0.589	0.369	0.434	0.064	0.049			
二次 *P* 值 Quadratic *P*-value	0.339	0.834	0.634	0.066	0.718	0.403	0.465	0.797	0.567			

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no

significant difference (**P**>0.05). The same as below.

表 3 饲粮添加菊糖对肉仔鸡排泄物和肠道食糜中有机酸浓度及 pH 的影响（鲜样基础）

Table 3 Effects of dietary inulin supplementation on organic acids concentrations and pH in excreta and intestinal digesta of broilers（fresh basis）

饲粮菊糖添加水平 Dietary inulin supplemental level/%	排泄物 Excreta				直肠食糜 Rectal digesta		盲肠食糜 Cecal digesta	
	乙酸 Acetic acid/(mg/g)	丙酸 Propanoic acid/(mg/g)	乳酸 Lactic acid/(mg/g)	pH	乙酸 Acetic acid/(mg/g)	乳酸 Lactic acid/(mg/g)	乙酸 Acetic acid/(mg/g)	乳酸 Lactic acid/(mg/g)
0（对照 Control）	0.27±0.20	0.20±0.16	4.28±1.00^{a}	5.86±0.22^{a}	0.20±0.23	0.33±0.07^{a}	1.13±0.24	0.21±0.12
0.05	0.42±0.33	0.19±0.11	4.25±0.74^{a}	6.23±0.26^{b}	1.10±0.90	1.03±0.14^{b}	0.89±0.72	0.05±0.01
0.15	0.73±0.46	0.26±0.14	4.59±0.56^{ab}	5.74±0.25^{a}	0.82±0.48	1.56±0.35^{c}	0.59±0.42	0.25±0.10
0.25	0.53±0.47	0.16±0.09	4.56±0.85^{ab}	5.91±0.16^{a}	1.18±0.72	2.34±0.24^{d}	0.47±0.02	0.26±0.15
0.50	0.42±0.32	0.22±0.17	5.61±1.12^{b}	5.63±0.12^{a}	1.38±0.46	0.66±0.06^{ab}	0.38±0.01	0.43±0.67
差异性 *P* 值 Difference *P*-value	0.296	0.768	0.044	0.003	0.224	＜0.001	0.339	0.831
线性 *P* 值 Linear *P*-value	0.706	0.905	0.003	0.006	0.076	0.133	0.078	0.331
二次 *P* 值 Quadratic *P*-value	0.078	0.903	0.490	0.828	0.401	<0.001	0.312	0.886

各部位丁酸及盲肠和直肠丙酸未检出。

Butyric acids in all intestinal segments, and propanoic acids in ceca and rectum were undetectable.

2.3 吲哚和粪臭素

由表 4 可知，饲粮添加菊糖对肉仔鸡排泄物中吲哚、粪臭素的浓度有显著影响（*P*<0.05），其中，0.50%菊糖添加组排泄物中吲哚浓度比对照组降低了 50.76%（*P*<0.05）；0.50%菊糖添加组肉仔鸡排泄物粪臭素浓度显著低于对照组及 0.05%、0.15%菊糖添加组（*P*<0.05）。饲粮菊糖添加水平与肉仔鸡排泄物吲哚、粪臭素浓度呈显著的线性关系（*P*<0.05）。饲粮菊糖添加水平对肉仔鸡直肠食糜粪臭素浓度有显著影响(*P*<0.05)，0.15%、0.25%、0.50%菊糖添加组显著低于对照组（*P*<0.05）。饲粮菊糖添加水平与肉仔鸡直肠食糜粪臭素浓度呈显著的线性关系（*P*<0.05）。饲粮菊糖添加水平对肉仔鸡盲肠食糜吲哚浓度有显著影响（*P*<0.05）。0.25%、0.50%菊糖添加水平组盲肠食糜吲哚浓度显著低于对照组（*P*<0.05）。饲粮菊糖添加水平与盲肠吲哚浓度线性关系显著(*P*<0.05)。

表 4　饲粮添加菊糖对肉仔鸡排泄物及肠道食糜中吲哚和粪臭素浓度的影响

Table 4　Effects of dietary inulin supplementation on indole and skatole concentrations in excreta and intestinal digesta of broilers　ng/g

饲粮菊糖添加水平 Dietary inulin supplemental level/%	排泄物 Excreta		直肠食糜 Rectal digesta		盲肠食糜 Cecal digesta	
	吲哚 Indole	粪臭素 Skatole	吲哚 Indole	粪臭素 Skatole	吲哚 Indole	粪臭素 Skatole
0（对照 Control）	173.23±59.76^{b}	99.33±35.38^{b}	140.30±22.68	121.10±36.15^{c}	450.13±101.21^{b}	400.67±163.05
0.05	120.95±29.74^{ab}	95.85±28.81^{b}	102.03±27.40	97.70±15.33^{bc}	383.00±83.88^{ab}	342.77±208.54
0.15	121.95±44.14^{ab}	98.40±32.31^{b}	97.70±17.25	78.30±21.24^{ab}	356.30±25.03^{ab}	195.20±50.02
0.25	105.00±30.17^{a}	72.93±19.14^{ab}	98.20±32.99	63.67±5.93^{ab}	300.93±42.05^{a}	220.17±107.75
0.50	85.30±27.91^{a}	57.77±18.41^{a}	85.93±40.19	42.90±11.86^{a}	274.20±17.23^{a}	159.80±86.79
差异性 *P* 值 Difference *P*-value	0.018	0.073	0.271	0.008	0.045	0.219
线性 *P* 值 Linear *P*-value	0.003	0.006	0.095	0.001	0.006	0.050
二次 *P* 值 Quadratic *P*-value	0.236	0.845	0.345	0.171	0.205	0.279

2.4　不同部位吲哚、粪臭素和有机酸浓度的差异性分析

由表 5 可知，在同一饲养条件下，肉仔鸡吲哚、粪臭素和乳酸的产量在各部位（排泄物、直肠食糜和盲肠食糜）间差异显著($P<0.05$)。其中，盲肠食糜吲哚浓度比排泄物和直肠食糜分别高出 190.96%和 236.65%($P<0.05$)，盲肠食糜粪臭素浓度比排泄物和直肠食糜分别高出 210.77%和 226.68%($P<0.05$)。肉仔鸡排泄物乳酸浓度最高（4.66 mg/g），盲肠食糜中最低。各部位的乙酸浓度差异不显著($P>0.05$)。

表 5　肉仔鸡不同部位吲哚、粪臭素和有机酸浓度的差异

Table 5　Differences of indole, skatole and organic acids concentration among different parts of broilers

部位 Parts	吲哚 Indole/(ng/g)	粪臭素 Skatole/(ng/g)	乙酸 Acetic acid/（mg/g）	乳酸 Lactic acid/（mg/g）
排泄物 Excreta	121.29±32.63^{a}	84.86±18.64^{a}	0.47±0.17	4.66±0.55^{c}
直肠食糜 Rectal diges-	104.83±20.72^{a}	80.73±30.19^{a}	0.94±0.46	1.18±0.79^{b}

ta				
盲肠食糜 Cecal digesta	352.91±69.40[b]	263.72±102.95[b]	0.69±0.31	0.24±0.13[a]
P 值 *P*-value	＜0.001	0.001	0.134	＜0.001

2.5 吲哚、粪臭素和有机酸浓度之间的相关关系

由表 6 可见，肉仔鸡排泄物吲哚浓度与直肠吲哚（*r*=0.971）、直肠粪臭素（*r*=0.946）和盲肠吲哚浓度（r=0.963）呈显著的正相关关系（*P*<0.05），与直肠乙酸（*r*=-0.976）和盲肠乙酸浓度（*r*=-0.923）呈显著的负相关关系（*P*<0.05）。直肠吲哚浓度与直肠粪臭素（*r*=0.891）、盲肠吲哚（*r*=0.899）、盲肠乙酸浓度（*r*=0.895）呈显著的正相关关系（*P*<0.05），与直肠乙酸浓度（*r*=-0.942）为呈显著的负相关关系（*P*<0.05）。直肠粪臭素浓度与盲肠吲哚（*r*=0.989）、盲肠粪臭素（*r*=0.942）、盲肠乙酸浓度（*r*=0.981）呈显著的正相关关系（*P*<0.05）。肉仔鸡吲哚和粪臭素浓度与直肠乙酸浓度均为负相关关系，而与盲肠乙酸浓度为正相关关系。盲肠乳酸与排泄物乳酸浓度（*r*=0.886）呈显著的正相关关系（*P*<0.05）。排泄物 pH 与盲肠乳酸浓度(*r*=-0.927)呈显著的负相关关系(*P*<0.05)。

3 讨 论

3.1 饲粮添加菊糖对肉仔鸡生长性能的影响

菊糖作为饲料添加剂对动物生长性能的影响不尽相同。许多研究表明，菊粉能够改善肠道内的微生物种群，是肠内双歧杆菌的增长因子，能够促进有益菌的生长，减少和抑制有害菌的滋长，改善肠道微生物平衡，从而有益于宿主的健康和营养物质代谢，促进动物生长[9]。张艳[10]研究表明，饲粮中添加 0.5%菊糖可提高肉仔鸡 ADFI 和饲料转化率。王亚锴[11]在肉鸡饲粮中添加 0.2%、0.4%、0.8%的菊芋提取物均能提高肉鸡的生产性能，其中添加 0.4%水平效果最好。Ortiz 等[12]报道，与添加和不添加抗菌素的对照组相比，不同水平的菊糖对肉鸡生长性能无显著影响；Huang 等[13]研究表明，随着饲粮菊糖添加水平的增加，仅 1～3 周龄肉仔鸡 ADFI 极显著上升，但肉仔鸡各阶段 ADG 和 F/G 均无显著差异。本试验结果表明，饲粮添加菊糖对肉仔鸡生长性能的影响差异不显著，但与肉仔鸡 ADFI 和 F/G 线性关系显著。可见菊糖对肉鸡生长性能的影响结果不一致的原因，与菊糖的来源、添加量、饲养条件和环境有关。

表 6　肉仔鸡吲哚、粪臭素和有机酸浓度间的相关关系

Table 6　The correlation coefficient of indole, skatole and organic acids concentration of broilers

项目 Items	排泄物吲哚 Excreta indole	排泄物粪臭素 Excreta skatole	直肠吲哚 Rectal indole	直肠粪臭素 Rectal skatole	盲肠吲哚 Cecal indole	盲肠粪臭素 Cecal skatole	排泄物乙酸 Excreta acetic acid	排泄物丙酸 Excreta propanoic acid	排泄物乳酸 Excreta lactic acid	排泄物 pH Excreta pH	直肠乙酸 Rectal acetic acid	直肠乳酸 Rectal lactic acid	盲肠乙酸 Cecal acetic acid	盲肠乳酸 Cecal lactic acid
排泄物吲哚 Excreta indole	1													
排泄物粪臭素 Excreta skatole	0.792	1												
直肠吲哚 Rectal indole	0.971*	0.632	1											
直肠粪臭素 Rectal skatole	0.946*	0.873	0.891*	1										
盲肠吲哚 Cecal indole	0.963*	0.877	0.899*	0.989*	1									
盲肠粪臭素 Cecal skatole	0.855	0.685	0.864	0.942*	0.906*	1								
排泄物乙酸 Excreta acetic acid	-0.425	0.058	-0.589	-0.422	-0.407	-0.663	1							
排泄物丙酸 Excreta propanoic acid	-0.070	0.203	-0.238	-0.147	-0.026	-0.410	0.578	1						
排泄物乳酸 Excreta lactic acid	-0.723	-0.860	-0.635	-0.844	-0.776	-0.764	0.067	0.288	1					
排泄物pH Excreta pH	0.245	0.478	0.204	0.526	0.417	0.634	-0.223	-0.533	-0.730	1				
直肠乙酸 Rectal acetic acid	-0.976*	-0.746	-0.942*	-0.863	-0.904*	-0.727	0.330	-0.079	0.611	-0.040	1			
直肠乳酸 Rectal lactic acid	-0.426	-0.146	-0.462	-0.398	-0.480	-0.464	0.689	-0.184	-0.138	0.103	0.423	1		
盲肠乙酸 Cecal acetic acid	-0.923*	0.785	0.895*	0.981*	0.975*	0.972*	-0.573	-0.190	-0.748	0.515	-0.830	-0.544	1	
盲肠乳酸 Cecal lactic acid	-0.484	-0.769	-0.378	-0.728	-0.650	-0.719	0.093	0.273	0.886*	-0.927*	0.317	-0.039	-0.678	1

表示在0.05水平上显著相关。 mean correlation is significant at $P<0.05$.

3.2 饲粮添加菊糖对肉仔鸡排泄物及肠道有机酸浓度和 pH 的影响

马丽敏[14]研究表明，饲粮中添加 0.5%～2.0%的菊糖，显著降低了蛋公鸡盲肠 pH，主要是由于菊糖在盲肠或结肠发酵产生的挥发性脂肪酸（VFA）的影响。Hidaka 等[15]在大鼠饲粮中添加菊糖，使盲肠及粪便乙酸、丙酸、丁酸及 VFA 浓度升高，同时降低 pH，并认为 pH 的降低同 VFA 浓度的升高有关。本试验表明，肉仔鸡排泄物乳酸浓度随饲粮菊糖添加水平的升高而升高，饲粮添加 0.50%的菊糖，肉仔鸡排泄物乳酸浓度比对照组高出 31.07%，排泄物 pH 也随着饲粮菊糖添加水平的升高显著降低。此结果与以上报道一致。Rehman 等[16]报道，菊糖可显著提高肉仔鸡空肠乙酸盐含量，降低消化道 pH，但对盲肠内容物中的 VFA 浓度无影响。本试验表明，饲粮添加菊糖对肉仔鸡盲肠乙酸、乳酸浓度的影响都不显著，此结论与以上的报道相符。

3.3 饲粮添加菊糖对肉仔鸡排泄物及肠道吲哚和粪臭素浓度的影响

菊糖在单胃动物的小肠基本不能被体内的消化酶分解，而是以较完整的形式到达后肠，调节微生物区系，改变微生物的发酵方式，使代谢中的尿氮部分转变成粪氮，含氮化合物(如 NH_3、酚、吲哚、粪臭素等)减少，从而减少氮的排泄，降低臭味[17]。孙瑞峰等[18]报道，添加菊糖和枯草芽孢杆菌后肉仔鸡排泄物 NH_3 散发量大大降低，这是因为菊糖发酵的终产物主要为 VFA、气体(CO_2、H_2、CH_4、H_2S)和有机酸(乳酸、琥珀酸、丙酮酸等)等短链脂肪酸，降低了肠道和粪尿 pH，从而减少了肠道和粪尿中 NH_3、H_2S、吲哚和胺类等恶臭气体的产量。研究表明，在猪饲粮中添加菊糖等低聚糖后，可显著降低仔猪产生 NH_3、吲哚、粪臭素等臭气物质的浓度[19]。饲喂菊糖可使猪结肠和直肠中粪臭素浓度显著减少[6]。Zammerini 等[20]表明，饲粮添加 9%菊糖，猪背膘中粪臭素的浓度为 0.047 μg/g，显著低于对照组和其他剂量添加量组。随着菊糖添加水平的增加，公猪大肠和粪便中粪臭素浓度也随之减少[7]。本试验表明，随着饲粮菊糖添加水平的升高，肉仔鸡排泄物吲哚、粪臭素浓度逐渐降低。其中，0.50%菊糖添加组肉仔鸡排泄物吲哚的浓度比对照组降低了 50.76%，粪臭素浓度也低于其他组。饲粮添加菊糖对肉仔鸡直肠粪臭素、盲肠吲哚浓度有显著影响，随着饲粮菊糖添加水平的升高，吲哚、粪臭素浓度逐渐降低，此结果与以上报道基本一致。

3.4 肉仔鸡各部位有机酸、吲哚和粪臭素浓度差异及相关关系

了解肉仔鸡各部位臭气化合物浓度的差异可从空间角度阐明粪臭素、吲哚等产生的基本规律，探明肉仔鸡臭气化合物产生的生物学基础。申剑[21]研究表明，VFA 在仔猪肠道内容物中的浓度由盲肠至粪便逐渐降低。李彩燕[22]报道，乙酸和丙酸的浓度从猪盲肠到直肠逐渐降低。本试验表明，肉

仔鸡各部位乙酸浓度由高至低依次为直肠食糜＞盲肠食糜＞排泄物；乳酸浓度由高至低依次为排泄物＞直肠食糜＞盲肠食糜。这一结果与上述结论不一致，可能的原因是试验动物种类不同，另外，本试验饲粮中添加了菊糖，对不同部位有机酸的产量有所影响。侯瑞[8]以 42 日龄肉仔鸡盲肠、直肠内容物为菌源进行体外厌氧发酵，研究大豆低聚糖与菊糖对 *L*-Trp 代谢机制的影响结果显示，盲肠菌源吲哚的浓度极显著高于直肠吲哚浓度。李彩燕[22]研究表明，猪不同肠段中吲哚与粪臭素的浓度有很大差别，长白猪盲肠到远结肠内容物中吲哚的含量逐渐上升，到直肠有所下降，而金华猪盲肠到远结肠内容物中粪臭素的含量逐渐上升，到直肠有所下降。本研究表明，肉仔鸡盲肠食糜中的吲哚、粪臭素浓度最高，吲哚浓度比排泄物和直肠食糜分别高出 190.96%和 236.65%，粪臭素浓度比排泄物和直肠食糜分别高出 210.77%和 226.68%。

通过了解有机酸、吲哚和粪臭素等之间的相关关系，将有助于发现肉仔鸡臭气化合物减排的突破点。粪臭素和吲哚是 *L*-Trp 在多种微生物作用下降解的最终产物。许多微生物都可将 L-Trp 降解为吲哚和吲哚乙酸，有几种特定的微生物可以把吲哚乙酸脱羧形成粪臭素[23]。乙酸、丙酸和乳酸也是在多种微生物的作用下产生的，产生的主要部位为后肠，主要来自于碳水化合物的发酵，也有部分来自于蛋白质的降解和氨基酸的发酵，因此有机酸可作为肠道微生物发酵的指标。胡彩虹等[24]研究表明，pH 较高环境有利于粪臭素的产生，而 pH 较低环境有利于吲哚的产生。刘乃芝等[25]报道添加微生态制剂和柠檬酸可以降低肉鸡盲肠中 VFA 浓度，同时降低吲哚和粪臭素的浓度。杨桂芹等[26]研究表明，添加酵素菌试剂可以降低肠道中总有机酸和 VFA 浓度，同时显著降低吲哚与粪臭素浓度。说明肠道酸度与吲哚和粪臭素的产生存在一定关系。低 pH 减少粪臭素产生的限制因素可能是因为 *L*-Trp 转换为吲哚乙酸[27]。本试验研究表明，肉仔鸡排泄物吲哚浓度与直肠吲哚、直肠粪臭素、盲肠吲哚浓度呈显著的正相关关系，与直肠和盲肠乙酸浓度呈显著的相关关系。肉仔鸡吲哚和粪臭素产量与直肠乙酸浓度均为负相关关系。综合本试验肉仔鸡各部位臭气化合物浓度差异及相关关系得出，在今后的试验中通过盲肠取样测定肉仔鸡主要臭气化合物产量更具有准确性、代表性和实际意义。同时通过改变肉仔鸡盲肠微生物发酵模式，调整肠道 pH，可望找到降低肉仔鸡臭气化合物产量的有效措施。

4 结 论

① 饲粮添加菊糖对肉仔鸡生长性能无显著影响，但与肉仔鸡 ADFI 和 F/G 线性关系显著。

② 饲粮添加 0.50%菊糖提高了肉仔鸡排泄物乳酸浓度，显著降低 pH；显著降低肉仔鸡排泄物

吲哚和粪臭素浓度及直肠粪臭素浓度。

③ 肉仔鸡盲肠吲哚和粪臭素浓度极显著高于排泄物和直肠食糜。排泄物吲哚浓度与直肠吲哚、直肠粪臭素、盲肠吲哚浓度呈显著的正相关关系。排泄物 pH 与盲肠乳酸浓度呈显著的负相关关系。

④ 综合表明，饲粮菊糖适宜添加水平为 0.50%。

参考文献：

[1] OLIVEIRA J E F,RODRIGUES P B,ALVARENGA R R,et al.Amino acid reduction in broiler diets supplemented with phytase and elaborated according to different nutritional plans[J].Ciência e Agrotecnologia,2012,36(2):224–232.

[2] 杨桂芹,韩钰婧,刘海英,等.饲粮代谢能和可消化赖氨酸水平对肉仔鸡排泄物化学组成及主要臭气化合物含量的影响[J].动物营养学报,2014,26(4):1034–1043.

[3] MENSINK M A,FRIJLINK H W,MAARSCHALK K V D V,et al.Inulin,a flexible oligosaccharide I:review of its physicochemical characteristics[J].Carbohydrate Polymers,2015,130:405–419.

[4] KNUDSEN K E B,HEDEMANN M S,LÆRKE H N.The role of carbohydrates in intestinal health of pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2012,173(1/2):41–53.

[5] LIU H Y,IVARSSON E,JÖNSSON L,et al.Growth performance,digestibility,and gut development of broiler chickens on diets with inclusion of chicory(*Cichorium intybus* L.)[J].Poultry Science,2011,90(4):815–823.

[6] ØVERLAND M,KJOS N K,FAUSKE A K,et al.Easily fermentable carbohydrates reduce skatole formation in the distal intestine of entire male pigs[J].Livestock Science,2011,140(1/2/3):206–217.

[7] O'SHEA C J,SWEENEY T,BAHAR B,et al.Indices of gastrointestinal fermentation and manure emissions of growing-finishing pigs as influenced through singular or combined consumption of Lactobacillus plantarum and inulin[J].Journal of Animal Science,2012,90(11):3848–3857.

[8] 侯瑞.菊糖和大豆寡糖对体外条件下肉仔鸡粪臭素产量及肠道菌群的影响[D].硕士学位论文.沈阳:沈阳农业大学,2015:40–50.

[9] 上官明军,王芳,张红岗,等.菊粉对蛋雏鸡生长性能、免疫器官指数和血清免疫球蛋白的影响[J].动物营养学报,2009,21(1):118–122.

[10] 张艳.菊粉对肉鸡生产性能、血液指标及肠道菌群的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大

学,2004:14–27.

[11] 王亚锴.菊芋提取物对肉鸡生产性能、肉品质及免疫器官的影响[D].硕士学位论文.洛阳:河南科技大学,2013:24–27.

[12] ORTIZ L T,RODRÍGUE M L,ALZUETA C,et al.Effect of inulin on growth performance,intestinal tract sizes,mineral retention and tibial bone mineralisation in broiler chickens[J].British Poultry Science,2009,50(3):325–332.

[13] HUANG Q Q,WEI Y N,LV Y J,et al.Effect of dietary inulin supplements on growth performance and intestinal immunological parameters of broiler chickens[J].Livestock Science,2015,180:172–176.

[14] 马丽敏.菊粉对蛋公鸡消化道内容物消化参数的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2011:18–28.

[15] HIDAKA H,EIDA T,TAKITAWA T,et al.Effects of fructooligosaccharides on intestinal flora and human health[J].Bifidobacteria and Microflora,1986,5(1):37–50.

[16] REHMAN H,HELLWEG P,TARAS D,et al.Effects of dietary inulin on the intestinal short chain fatty acids and microbial ecology in broiler chickens as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis[J].Poultry Science,2008,87(4):783–789.

[17] 潘倩,陈安国,赵燕.可发酵碳水化合物减少猪场臭气的机理和应用[J].家畜生态学报,2007,28(3):6–10.

[18] 孙瑞锋,步长英,李同树.菊糖和枯草芽孢杆菌对肉鸡肠道菌群数量及排泄物氨气散发量的影响[J].华北农学报,2008,23(增刊):252–256.

[19] 屈亮,谭斌,李彪,等.集约化猪场除臭措施的应用研究[J].饲料研究,2012(5):31–33.

[20] ZAMMERINI D,WOOD J D,WHITTINGTON F M,et al.Effect of dietary chicory on boar taint[J].Meat Science,2012,91(4):396–401.

[21] 申剑.寡果糖对人源菌群仔猪肠道菌群结构和宿主代谢的影响[D].博士学位论文.上海:上海交通大学,2008:116–127.

[22] 李彩燕.日粮纤维对猪体粪臭素沉积的调控及分子机理研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2009:41–46.

[23] JENSEN M T,COX R P,JENSEN B B.Microbial production of skatole in the hind gut of pigs given different diets and its relation to skatole deposition in backfat[J].Animal Science,1995,61(2):293–304.

[24] 胡彩虹,俞颂东,许梓荣.猪粪便细菌群作用下 3-甲基吲哚(粪臭素)和吲哚形成的研究[J].中国畜牧杂志,2002,38(5):10–11.

[25] 刘乃芝,陈静,崔诗法,等.微生态制剂与柠檬酸合用对肉鸡盲肠和粪便中臭气化合物的影响[J].畜禽业,2013(8):42–44.

[26] 杨桂芹,冯军平,田河,等.添加酵素菌制剂对蛋鸡粪中臭味物质排出量的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(7):55–57.

[27] 侯瑞,杨桂芹,刘海英,等.寡糖调控畜禽粪臭素水平的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2015(5):50–52.

Effects of Dietary Inulin Supplementation on Growth Performance, Concentrations of Major Odor-Causing Compounds in Excreta and Intestinal Digesta of Broilers

WANG Qi GUAN Qiannan YANG Guiqin* LIU Haiying NING Zhili DONG Weiguo

(*College of Animal Husbandry and Veterinary, Shenyang Agricultural University, Shenyang* 110866, *China)*

Abstract: The purpose of this experiment was to study the effects of dietary inulin supplementation on growth performance, concentrations of the major odor-causing compounds in excreta and intestinal digesta of broilers. Three hundred one-day-old Arbor Acres（AA）broilers were selected and randomly distributed into 5 groups with 6 replicates per group and 10 broilers, per replicate . Broilers in the experimental groups were fed basal diets supplemented with 0 (control group), 0.05%, 0.15%, 0.25% and 0.50% inulin, respectively. The experimental period was 6 weeks. The results showed as follows: 1) dietary inulin supplementation had no significant effects on growth performance of broilers (P>0.05). 2) The lactic acid concentration in excreta of broilers fed diet with 0.50% inulin was significantly higher than that in control group (P<0.05). The lactic acid concentration in excreta was significantly higher compared with that in cecal and rectal di-

gesta ($P<0.05$). 3) The indole and skatole concentration in excreta of broilers fed diet with 0.50% inulin was significantly lower than that in control group ($P<0.05$). 4) The indole concentration in excreta showed a significant positive correlation with the concentration of indole and skatole in rectal digesta, and indole in cecal digesta ($P<0.05$). The pH in excreta and the concentration of lactic acid in cecal digesta showed a significant negative correlation ($P<0.05$). In summary, under the present experimental condition, dietary supplementation with inulin can significantly reduce the concentration of indole and skatole in excreta, cecal digesta and rectal digesta of broilers, and the appropriate inulin supplementation level in the diet of broiler is 0.50%.

Key words： inulin; growth performance; excreta; intestinal tract; odor compound; broilers

---

*Corresponding author, professor, E-mail: guiqiny@126.com （责任编辑　武海龙）